

Технико-экономическая эффективность разработанной технологии выражается в существенном улучшении эксплуатационных показателей (прочности на изгиб, прочности на срез, трещиностойкости, водонепроницаемости, водопоглощения) и увеличении срока службы буроналивных свай.

1. Коновалов П.А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий. – М.: Бу-  
мажная галерея, 2000. – 315 с.

2. Девятаева Г.В. Технология реконструкции и модернизации зданий. – М.: ИНФРА-  
М, 2003. – 250 с.

3. Армирование откосов буроналивными сваями малого диаметра / А.И. Меней-  
люк, О.А. Попов, И.К. Бичев, М.В. Кирьяков, И.С. Чернов // Армування основ при будів-  
ництві та реконструкції будівель і споруд: Зб. наук. тр. – К.: НДБК, 2007. – С. 141-150.

4. Бичев И.К. Изучение влияния дисперсного армирования и модифицирующих до-  
бавок на технологические показатели буроналивных свай // Вісник ОДАБА. – Одеса:  
Зовнішнєкламсервіс, 2007. – Вип. 26. – С.76-83.

5. Бичев І. К. Технологія улаштування буроналивних паль малого діаметру при по-  
силенні фундаментів: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Одеса: ОДАБА, 2008. – 20 с.

6. Бичев И.К. Усиление откосов с помощью буроналивных свай, дополнительно  
дисперсно-армированных // Вісник ДНАБА. – Мakiївка: ДНАБА, 2011. – Вип. 89. – С.25-  
28.

*Получено 05.06.2012*

УДК 691.544 : 678.742.3

**Р.М.АХМЕДНАБИЕВ**, канд. техн. наук, **Р.Р.АХМЕДНАБИЕВ**

*Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка*

## **ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ФИБРОБЕТОНА ДЛЯ УСТРОЙСТВА И РЕМОНТА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОЛОВ**

Приведены результаты исследования фиброармированных мелкозернистых бетонов на трещиностойкость. За критерий трещиностойкости принят коэффициент интенсивности напряжений в конце трещины. Коэффициент трещиностойкости определен тремя спосо-  
бами.

Наведено результати випробування фіброармованих дрібнозернистих бетонів на  
тріщиностійкість. За критерій тріщиностійкості бетонів прийнято коефіцієнт інтенсивності  
напружень у кінці тріщини. Коефіцієнт інтенсивності напружень визначено за трьома  
способами.

The results of investigations of fiber-reinforced fine grain concrete on the crack resistance.  
For the criterion of crack resistance of concrete taken the strain intensity factor at the end of the  
crack. The strain intensity factor is calculated in three ways.

*Ключевые слова:* мелкозернистый бетон, полипропиленовые волокна, фиброармиро-  
ванный бетон, трещиностойкость, диссипативные потери, коэффициент интенсивности  
напряжений, сила продвижения трещины.

Расширение областей и объемов применения бетона в строительст-  
ве, ужесточение условий эксплуатации бетонных конструкций требует

постоянного улучшения таких свойств бетона, как: трещиностойкости, сопротивления бетона ударным и динамическим воздействиям, абразивному износу и т.д. Этого можно добиться, армируя бетон волокнами: стальными, полимерными, стеклянными. Как известно, армирование бетона волокнами модуль упругости, которых выше, чем модуль упругости матрицы, способствует повышению прочностных характеристик. Полимерные волокна представляет интерес, как средство для повышения ударной и динамической прочности, а также износостойкости бетона.

В данной работе исследована трещиностойкость бетона, армированного полипропиленовыми волокнами длиной 30 мм и диаметром 0,2 мм.

Сопротивление фиброармированного бетона разрушению оценивается по критическому коэффициенту интенсивности напряжений у вершины трещины. Этот коэффициент получил название «вязкость разрушения»  $K_{IC}$ . Благодаря интенсивному развитию линейной механики разрушения разработаны и другие критерии, применяемые за характеристики сопротивления материала распространению трещины. Например, критическое раскрытие трещины в ее вершине, удельная энергия образования новых поверхностей  $\gamma$ , освобождающаяся энергия при подрастании трещины и т.п. Существуют определенные зависимости, позволяющие пересчитать эти величины на  $K_{IC}$ .

Отношение высвобожденной энергии к приращению площади трещины, обозначаемое  $\omega$ , может быть также по аналогии с коэффициентом интенсивности напряжения  $K_{IC}$  использовано как параметр, определяющий условие разрушения. Эти два параметра связаны соотношениями:

$$\omega E = K_{IC}^2 - \text{плосконапряженное состояние}; \quad (1)$$

$$\omega E = K_{IC}^2 (1 - \nu) - \text{плоская деформация}. \quad (2)$$

Д.Р. Ирвин [1] отметил, что  $\omega$ , по определению, соответствует обобщенной силе и ввел для  $\omega$  термин «сила продвижения трещины». Х.Т. Кортен [2] показал, что обобщенная сила определяется по аналогии с обычными силами, связал ее определение с методами испытания материалов и ввел выражение для ее вычисления:

$$\omega = \frac{P^2}{2} \left( \frac{\partial C}{\partial A} \right), \quad (3)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка;  $C$  – податливость образца с трещиной;  $A$  – площадь вновь образовавшейся трещины.

Из уравнения (3) видно, что  $\omega$  не зависит от жесткости конструкций испытательной машины, а зависит только от изменения податливости образца с трещиной при изменении длины трещины.

Для определения силы продвижения трещины в исследуемых фиброармированных бетонах испытывались образцы в виде плит размерами  $80 \times 60 \times 3$  см. Плиты формовались из бетонов с объемной концентрацией волокон 1, 2 и 3% в специально изготовленных формах в горизонтальном положении с уплотнением на лабораторной виброплощадке в течение 20 с. В процессе формования в направлении длинных сторон в образцы были заложены траверсы на всю длину, в которые были ввинчены анкера длиной 75 мм (рис.1). На стадии формования по центру плиты была образована также начальная трещина размерами  $52 \times 1$  мм.

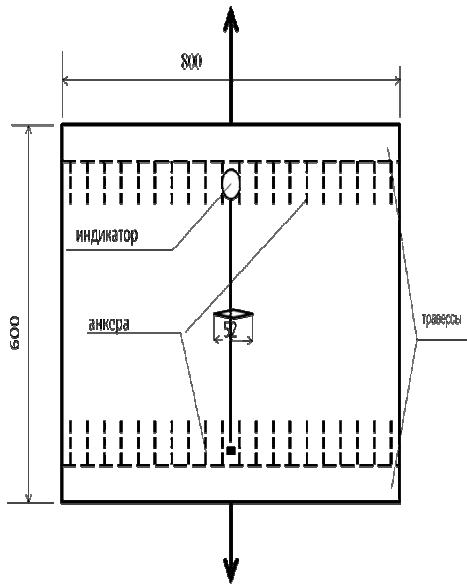


Рис. 1 – Плита для испытания фибробетона на трещиностойкость

Испытания проводились через 28 сут. на испытательной машине типа ГМС-50 с предельной нагрузкой 10 т. Скорость нагружения принималась низкой – 600-700 Н/мин. и постоянной на всех стадиях. Растягивающие усилия от захватов испытательной машины передавались на траверсы через шарнирные устройства. Таким образом, раскрытие трещины вызывалось нормальными напряжениями. Перед испытаниями пластины были окрашены в белый цвет и градуированы для фиксации

ния длины трещины на разных стадиях испытания. По вертикальной оси пластин были установлены опоры для закрепления индикаторов.

В процессе испытания через каждые 30 с контролировались: время  $t$ , нагрузка  $P$ , длина трещины  $2a$ , податливость образца, ширина раскрытия трещины. По данным этих испытаний трещиностойкость вычислялось также по уравнению, предложенному в [3] для композиционных материалов, испытывающих множественное разрушение с выдергиванием волокна

$$K_{IC} = K_m + \tau_i \sqrt{\pi L(1)(1 - \bar{u}) / (1 + d/D_1)^2 D_1}, \quad (4)$$

где  $K_m$  – трещиностойкость матрицы;  $\tau_i$  – напряжения сдвига на поверхности раздела волокно-матрица;  $L$  – размер зоны выдергивания;  $\bar{u}$  – критическое смещение перед разрушением;  $d$  – расстояние между волокнами;  $D_1$  – диаметр волокна.

Вязкость разрушения определялась также испытанием образцов балочек размерами  $7 \times 7 \times 28$  см без надрезов. По данным В.В. Панасюка [4], разрушающие напряжения при трехточечном изгибе, вычисленные в сечении с надрезом, но без учета концентрации напряжений, оказываются в ряде случаев ниже, чем те же напряжения в гладких образцах. Эта разница тем больше, чем плотнее и прочнее материал. В некоторых случаях прочность материала в надрезе снижается почти вдвое, и если материал достаточно неоднороден, эта разница практически исчезает. Считая исследуемые фибробетоны неоднородными материалами, для определения  $K_{IC}$  в данной работе испытывались образцы без надрезов. Вязкость разрушения вычислялась по уравнению (2.5), заимствованному из [4].

$K_{IC} = (3PIC^{1/2})/Bd^2[1,99 - 2,47(c/d) + 12,97(c/d)^2 - 23,17(c/d)^3 + 28,8(c/d)^4]$ , (5)  
где  $P$  – разрушающая нагрузка, кН;  $B$  – ширина образца, м;  $L$  – расстояние между опорами, м;  $d$  – высота образца, м;  $c$  – глубина надреза, м.

За глубину надреза принималась приведенная пористость образца.

По результатам испытаний плит были построены кривые податливости, причем по оси ординат откладывалась податливость образца, а по оси абсцисс – полудлина трещины (рис.2).

По наклону касательной к оси абсцисс определяли параметр  $dc/da$ . Затем, зная модуль упругости композиций каждого состава, определялся коэффициент интенсивности напряжений  $K_{IC}$ . Значение КИН, определенное по данной методике, выше значений, вычисленных по уравнению (4) в начальной стадии движения трещины. С увеличением длины трещины вязкость разрушения увеличивается, что видно из кривых, приведенных на рис.3. Подробное явление повышения эффекта затормаживаний трещин с увеличением длины описано также в работе [5].

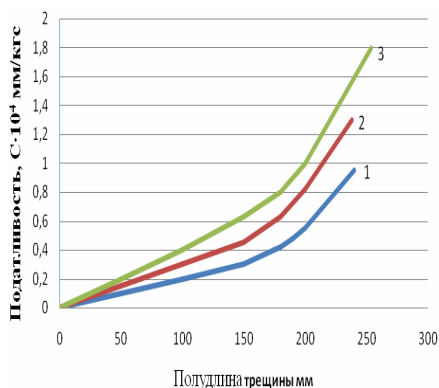


Рис. 2 – Кривые податливости – половина трещины:  
1, 2, 3 – соответственно объемное содержание волокна 1, 2, 3%.

Очевидно, с увеличением длины трещины количество волокон – стрингеров, стягивающих края трещины, повышается. На преодоление препятствий трения на поверхности раздела тратится дополнительная нагрузка, что и видно из графиков, приведенных на рис.4.

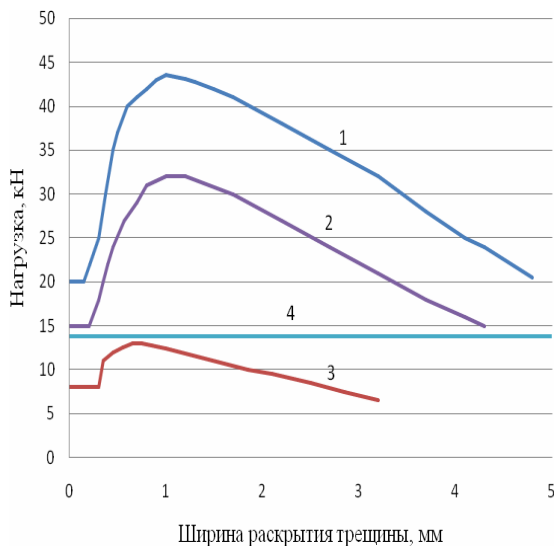


Рис.3 – Зависимость ширины раскрытия трещины от нагрузки:  
1, 2, 3 – объемное содержание волокна соответственно 3, 2, 1 %;  
4 – неармированный бетон.

Этим кривым присуща одна закономерность – начальный прямой участок, свидетельствующий о мгновенном высвобождении упругой энергии. С увеличением объемного содержания волокна длина участка уменьшается, хотя уровень нагрузки повышается. Крутой подъем кривой после прямого участка является показателем количества нагрузки, необходимого для компенсации диссипативных потерь энергии. Из всех элементов диссипативных потерь, анализ которых сделан Купером, в исследуемых композициях имеет место только два: дополнительное нагружение матрицы после образования трещины и преодоление напряжений сдвига на поверхности раздела при выдергивании волокна.

Более наглядное представление о зависимости длины трещины от растягивающих напряжений дают графики на рис.4, из которых видно, что с уменьшением объемного содержания волокна переход от медленного распространения трещины к быстрому становится резким. При построении этих кривых растягивающие напряжения рассчитаны на полное сечение образца без учета длины трещины.

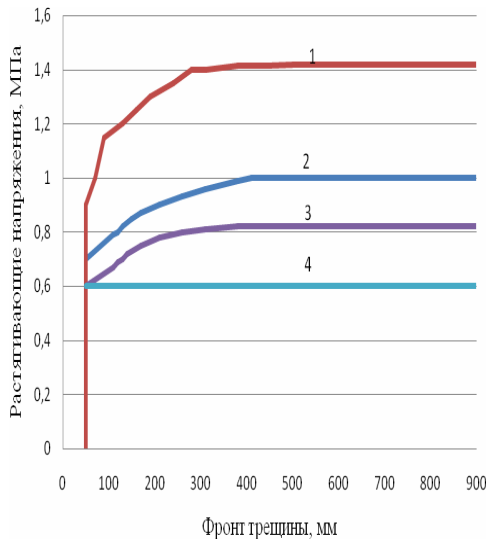


Рис 4 – Продвижение фронта трещины в зависимости от растягивающих напряжений:  
1, 2, 3 – соответственно объемное содержание волокна 3, 2, 1%;  
4 – армированный бетон.

Это явление отражено также на рис.5, где по оси ординат отложена длина трещины, а по оси абсцисс – время.

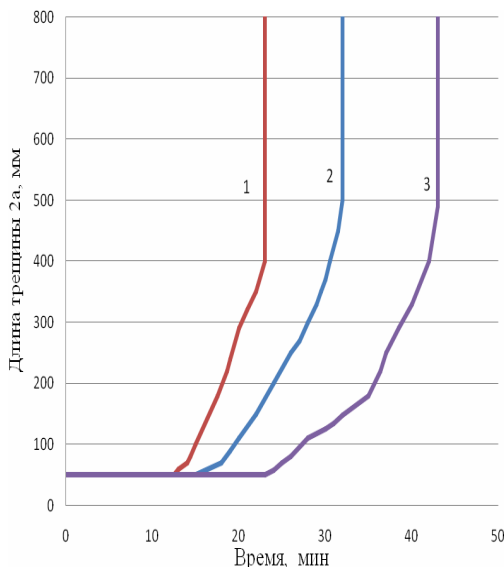


Рис.5 – Кривые продвижение фронта трещины – время:  
1, 2, 3 – соответственно объемное содержание волокна 1, 2, 3%.

Ети графіки свідчать про те, що перехід від повільного поширення тріщини до швидкого може здійснюватися по-різному. Повільне поширення відбувається не плавно і не неперервно, а стрибками, з часовими зупинками. Наклон кривих показує середню швидкість тріщин між експериментальними точками.

Для порівняння були випробувані плити з неармуваного бетону, виготовлені за аналогічною технологією. Момент сколигання тріщини та її зростання в цих плитах спостерігати за прийнятою методикою виявилось неможливим. При напруженнях близько 0,5-0,6 МПа плити миттєво розпадались на дві половини, що свідчить про більшу швидкість руху тріщини в матеріалі.

В результаті випробувань встановлено, що з введенням поліпропіленових волокон тріщиностійкість мелкозернистых бетонів підвищується.

Значення коефіцієнта інтенсивності напружень, визначені за різною методикою, відрізняються між собою на 12-17%.

1.Irvin, G.R. Handbuch der Physik/G.R. Irvin. – Berlin: Springer,1958. – 590 s.

2.Кортен Х.Т. Механіка руйнування композитів / Х.Т. Кортен // Руйнування. Т.7. Ч.1. – М.: Мир, 1976. – С.405-409.

3.Эванс А. Трещиностойкость керамики / А. Эванс, А. Хьюр, Д. Портер // Механика разрушения. – М.: Мир, 1979. – С.134-164.

4.Панасюк В.В. Оценка трещиностойкости цементного бетона по вязкости разрушения / В.В. Панасюк, Л.Т. Бережницкий // Бетон и железобетон. – 1981. – №2. – С.18-19.

5.Ву Э. Прочность и разрушение композитов / Э. Ву // Композиционные материалы. Т.5. – М.: Мир, 1978. – С.206-267.

*Получено 27.04.2012*

УДК 624.014.2 : 669.14.018

К.Ф.ЖАДАНОВА, канд. техн. наук, О.С.ВОДЕННИКОВА

*Запорізька державна інженерна академія*

## **ЗАХИСТ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ВІД КОРОЗІЙНОГО ЗНОСУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ АЛЮМІНІДНОГО ПОКРИТТЯ**

Розглядається метод захисту будівельних металоконструкцій від корозії за допомогою алюмінідного захисно-зміцнюючого покриття, отриманого шляхом електролізу.

Рассматривается метод защиты строительных металлоконструкций от коррозии с помощью алюминидного защитно-упрочняющего покрытия, полученного путем электролиза.

The method of defence of build construction metalware is examined from corrosion with the help of aluminide protective strengs coatings, got by an electrolysis.

*Ключові слова:* металоконструкції, покриття, алюміній, корозія, електроліз.

Сьогодні в Україні існує потреба в підвищенні експлуатаційної надійності будівельних металевих конструкцій. Інтенсивність виробничих процесів та підвищення надійності конструкцій залежить від окремих елементів конструкції будівлі, які повинні поєднувати в собі велику міцність та зносостійкість зі стійкістю до впливу агресивного середовища. В даний час стан конструкцій викликає великі побоювання щодо їх надійної експлуатації. Частина цих конструкцій знаходяться в аварійному або перед аварійному стані [1]. Наприклад, металоконструкції Успенського собору в історико культурному заповіднику Україні «Київ-Печерської Лаври» від дії мокрої атмосферної корозії значно пошкодженні (рис.1). Аналіз зовнішнього стану металоконструкцій показав, що в результаті конденсації вологи на поверхні металу, замурованих в цегляну кладку, відбуваються інтенсивні корозійні процеси. Корозійні ділянки досягають глибини до 1-2 мм, що значно знижує їх несучу здатність.

Відомо, що у світі корозія приводить щороку до мільярдних збитків, і вирішення цієї проблеми є важливим завданням. Основний збиток, що заподіюється корозією, полягає не у втраті металу як такого, а у величезній вартості виробів, що руйнуються корозією. Ось чому щорічні втрати від неї в промислово розвинених країнах настільки великі.